

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-258643

(43)Date of publication of application : 03.10.1997

(51)Int.Cl.

G03H 1/08

(21)Application number : 08-068738

(71)Applicant : HAMAMATSU PHOTONICS KK

(22)Date of filing : 25.03.1996

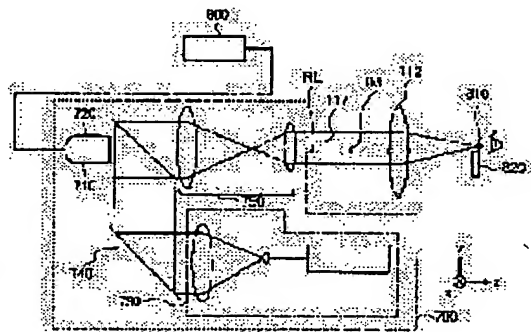
(72)Inventor : TAKEMORI TAMIKI

(54) HOLOGRAPHY FORMING DEVICE AND HOLOGRAPH DISPLAY DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a holography image pickup device which forms a hologram having high quality and facilitating the removal of a conjugated image at the time of reconstruction by using a recording element having relatively low space resolution and a holography display device which enables display by decreasing the distortions to the original image from the hologram formed with this holography image pickup device and removing the conjugate image.

SOLUTION: The wave front of the object light on the hologram plane is determined by convolution integration using a half plane propagation function restricted to have a value only within the half plane on the prescribed direction side perpendicular to a propagating axis within the plane perpendicular to this axis as a propagation function. Hologram data is then formed. The hologram formed in such a manner is read out by reading out light and the light of the wave front forming the conjugation image of the image to be observed is shielded by light shielding plates 810, 820 and thereafter, the object to be imaged is observed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

27.02.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-258643

(43) 公開日 平成9年(1997)10月3日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 3 H 1/08

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 3 H 1/08

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平8-68738

(22) 出願日 平成8年(1996)3月25日

(71) 出願人 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町1126番地の1

(72) 発明者 竹森 民樹

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ

トニクス株式会社内

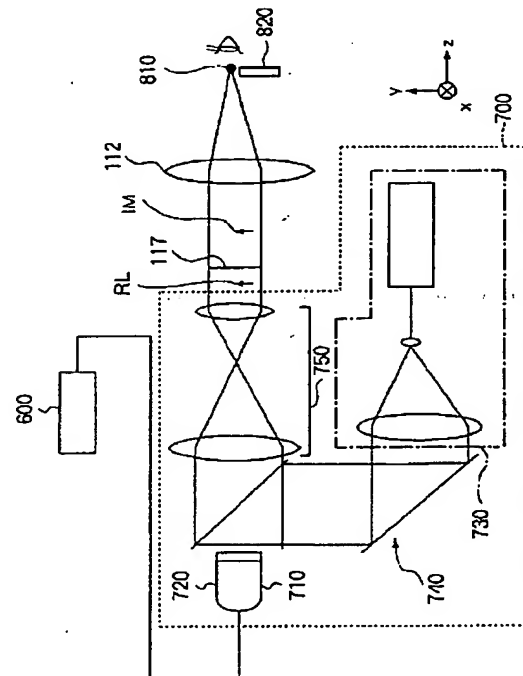
(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54) 【発明の名称】 ホログラフィ作成装置およびホログラフィ表示装置

(57) 【要約】

【課題】 比較的低い空間分解能の記録素子を使用し、質が高く、再生時に共役像の除去が容易なホログラムを作成するホログラフィ作成装置を提供するとともに、本発明のホログラフィ作成装置で作成したホログラムから原像に対する歪を低減するとともに、共役像を除去して表示可能なホログラフィ表示装置を提供する。

【解決手段】 伝搬関数として、伝搬する軸と垂直な平面内の前記軸と垂直な所定方向側の半平面内でのみ値を持つように限定した半平面伝搬関数を使用し、畳み込み積分によって、ホログラム面上の物体光の波面を求め、ホログラムデータの作成する。こうして、作成されたホログラムを、読み出し光で読み出し、観察対象像の共役像を形成する波面の光を、遮光板810、820によって遮光した後、観察対象像を観察する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 仮想3次元空間中の仮想物体に関する、平面状の仮想ホログラム面上のホログラムを作成するホログラフィ作成装置であって、観察対象となるべき虚像の所定位置から、正も屈折力を有する第1の結像光学系に応じて、前記虚像に対応する実像の位置を算出する第1の位置算出手段と、前記実像の位置での物体光の波面を算出する第2の波面算出手段と、前記物体光の伝搬の伝搬関数を、伝搬する軸と垂直な平面内の前記軸と垂直な所定方向側の半平面内でのみ値を持つように限定し、半平面伝搬関数を算出する領域限定手段と、前記実像の位置での物体光の波面と前記ホログラム面での前記半平面伝搬関数との畳み込み積分を演算し、前記ホログラム面上での物体光の波面を算出する畳み込み積分手段と、を備えることを特徴とするホログラフィ作成装置。

【請求項2】 仮想3次元空間中の仮想物体に関する、平面状の仮想ホログラム面上のホログラムを作成するホログラフィ作成装置であって、観察対象となるべき虚像の所定位置から、正も屈折力を有する第1の結像光学系に応じて、前記虚像の各点に対応する前記ホログラム面上の位置を算出する第2の位置算出手段と、前記虚像の各点での光の波面を算出する第2の波面算出手段と、前記虚像の各点での光の伝搬の伝搬関数を、伝搬する軸と垂直な平面内の前記軸と垂直な所定方向側の半平面内でのみ値を持つように限定し、半平面伝搬関数を算出する領域限定手段と、前記虚像の各点での光の波面と前記ホログラム面での前記半平面伝搬関数との畳み込み積分を演算し、前記ホログラム面上での物体光の波面を算出する畳み込み積分手段と、を備えることを特徴とするホログラフィ作成装置。

【請求項3】 前記ホログラム面上での物体光の波面と参照光の波面との複素和を算出し、実数成分を取り出してホログラムデータを得る干渉演算手段を更に備えることを特徴とする請求項1または2に記載のホログラフィ作成装置。

【請求項4】 請求項1または請求項2のホログラフィ作成装置で作成されたホログラムに基づいて仮想物体の像を表示するホログラフィ表示装置であって、請求項1または請求項2のホログラフィ作成装置で作成されたホログラムデータを入力する情報入力手段と、前記情報入力手段から通知された前記ホログラムデータに基づいて、ホログラムを形成するホログラム形成部と、前記ホログラムを形成する波面の光を入力し、前記仮想

物体の虚像を結像する、請求項1または請求項2のホログラフィ作成装置の第1の結像光学系と同等の正の屈折力を有する第2の結像光学系と、前記第2の結像光学系の前記ホログラム側とは反対側の焦点に配置された0次光を遮光する第1の遮光手段と、前記第2の結像光学系の前記ホログラム側とは反対側の焦点面上に配置され、前記ホログラムを形成する波面の光が前記第2の結像光学系を介して、実像を結像する波面を遮光する第2の遮光手段と、を備えることを特徴とするホログラフィ表示装置。

【請求項5】 前記ホログラムの位置と前記第2の結像光学系の前記ホログラム側の焦点面との距離を変化させる第2の移動手段を更に備える、ことを特徴とする請求項4記載のホログラフィ表示装置。

【請求項6】 前記ホログラム形成部は、前記情報入力部から通知された撮像結果の光学像を表示する表示手段と、前記表示手段に表示された前記光学像に応じた空間光変調像が書き込まれる空間光変調器と、前記空間光変調器に照射される読み出し光を発生する光源と、前記読み出し光が前記空間光変調器を介することにより位相又は振幅変調された位相又は振幅変調光を入力し、前記ホログラフィ撮像装置の撮像素子と同一の大きさのホログラムを形成するホログラム形成光学系と、を備えることを特徴とする請求項4記載のホログラフィ表示装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、物体の3次元情報を作成するホログラフィ作成装置、および、このホログラフィ撮像装置から物体の3次元情報を読み出して物体の3次元像を表示するホログラフィ表示装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】物体の3次元像の表示技術としてホログラフィ技術が注目されている。このホログラフィ技術は、物体の3次元情報を作成するホログラフィ作成技術と、ホログラフィ作成技術によって記録された物体の3次元情報を読み出して物体の3次元像を表示するホログラフィ表示技術とから構成される。

【0003】従来のホログラフィ技術は、一般に、ホログラフィ作成にあたって、記録素子が高分解能を有することを前提として構築されており、ホログラフィ作成装置の記録素子として高分解能の写真乾板やサーモプラスチックを用いるものが大部分である。これらは、高い解像度を有するという特質を活かして、参照光と物体光との成す角の角度を比較的大きく設定し、実際に撮像したり、計算機などによる計算結果を記録してホログラムを作成する。こうして得られたホログラムは、いわゆる0

off-axisな再生が可能となり、共役像による画質の悪化を避けることができる。

【0004】こうした作成技術は、高分解能であるが故に、基本的に高度な写真技術であるため、ホログラフィ撮像には多大の労力を必要とする。また、写真乾板やサーモプラスチックの現像を要するので実時間性に乏しい。

【0005】そこで、比較的低分解能の撮像素子であるCCDカメラを用いたホログラフィ技術が、「佐藤他、テレビジョン学会誌 Vol. 45, No. 7, p. 873-875 (1991)」(以後、従来例1と呼ぶ)や「橋本、画像電子学会誌 Vol. 22, No. 4, p. 315-322 (1991)」(以後、従来例2と呼ぶ)に提案されている。

【0006】従来例1は、ホログラフィ撮像技術で通常は使用されるレンズを使用しない、フレネル型ホログラフィ技術の例である。また、従来例2に開示されているホログラフィ撮像技術は、実像の空間分解能を撮像素子の空間分解能に合せるように、結像レンズを用い、結像レンズの物体側直前に開口を配置し、off-axis型のホログラムを得ようとしている。

【0007】また、計算機ホログラムを低分解能の液晶空間光変調器で再生するホログラフィ技術が、「前野他、3次元画像コンファレンス'94講演論文集、p. 165-170」(以後、従来例3と呼ぶ)に提案されている。従来例3は、再生したい実像の周りにマスクを置き、共役像からの光の除去を図っている。

【0008】また、再生像の観察時での共役像の除去の方法としては、シングルサイドバンド法(O. Bryngdahl et al., J. Opt. Soc. Am. 58, 620, 1968)が知られている。

【0009】この方法では、まず、位相成分に変化の無い2次元平面物体について、共焦点光学系で共役像を得て、この共役像のフレネルホログラムを得る。この共役像のフレネルホログラムは、共焦点光学系のフーリエ面に物体光のフーリエ成分の片側のみを通過させるマスクを配置し、通過した物体光のフーリエ成分のみで形成された像のフレネルホログラムを記録して得られる。

【0010】次に、記録時と同距離だけホログラムからフレネル伝搬させた波面が前焦点面となる共焦点光学系を用い、記録時にマスクされなかった側のフーリエ成分をマスクし、通過した光で像形成することにより、共役像を除去して再生像を得る。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】従来のホログラフィ撮像装置やホログラフィ表示装置は上記のように構成されるので、以下のような問題点があった。

【0012】従来例1および従来例2のホログラフィ撮像装置では、一般にCCDの空間分解能は $10\mu\text{m}$ 程度であることから、物体光と参照光との成す角度は $2\sim 3$

°以内である必要である。物体光と参照光との成す角度が大きくなると、干渉縞の間隔が撮像素子の分解能よりも小さくなってしまい、コントラスト良く干渉縞を撮像することができない。

【0013】そこで、従来例1のホログラフィ撮像装置では、撮像対象物の大きさをCCDの大きさ程度とするとともに、撮像対象物とCCDとの距離を大きくとっている。しかしながら、撮像対象物とCCDとの距離の最適化の指針がなく、従って、性能を維持しつつ小型化を図ることが困難である。

【0014】また、従来例1のホログラフィ撮像装置では、レンズを使用しないことから、視野を可変とすることができない。

【0015】従来例2のホログラフィ撮像装置では結像レンズの撮像対象物側の直前に絞りを配置するので、視野を大きくとるためには縮小系を選択しなければならない。したがって、視野を大きくとると物体光の光軸に対する角度は、レンズ通過後にレンズ入射前よりも拡大されることになる。

【0016】そこで、物体光と参照光との角度を小さく保つために絞りの開口を小さく絞ることになる。しかし、レンズ中心を通過する物体光は、レンズ光軸に対するレンズへの入射角とレンズ光軸に対するレンズへの出射角とは同一である。したがって、レンズ中心を通過する物体光に対しては、絞りの開口を小さく絞ることは、参照光と干渉した後の空間周波数を低減することにならない。

【0017】このため、参照光の進行方向を光軸方向から傾け、off-axis型のホログラムを得る方法が考えられるが、off-axis型のホログラムが得られる前提である物体の空間周波数がキャリア周波数より小さいとの要請を、一般には満足できない。

【0018】また、開口を小さく絞ると、物体光を有効に使用することができない。したがって、撮像対象物として反射率の高い物体を選択しなければならないという制約や、強力な光源が必要となるという制約が課されることになる。

【0019】従来例1および従来例2のホログラフィ表示装置は、撮像素子であるCCDの画素ピッチ、画素サイズと、画像再生時に使用される空間変調素子の画素ピッチ、画素サイズとは異なる。

【0020】従来例1のホログラフィ表示装置はフルネール型ホログラム方式を採用しているのにもかかわらず、表示光学系にレンズが使用されている。また、従来例2のホログラフィ表示装置は結像タイプの表示光学系とはなっていない。

【0021】すなわち、従来例1および従来例2では、ホログラフィ撮像時の光学系と画像再生時の光学系とが異なるため、再生表示像の位置による拡大率が本質的に異なることとなるので歪が発生することになる。

【0022】また、従来例1のホログラフィ表示装置のホログラフィ表示装置では、像の再生にあたって、強度ホログラムあるいは位相ホログラムによる場合に必然的に発生する共役像の除去ができないので、質の良い再生像の観察ができない。

【0023】また、従来例2のホログラフィ表示装置では、レンズの後焦点面に0次光マスクを配置し、観察時における0次光の除去を行っているが、+1次光および-1次光のいずれか一方を通過させるフィルタとはなっていないので、共役像の除去ができないので、質の良い再生像の観察ができない。

【0024】従来例3の技術は不十分なoff-axisの例であり、実像とレンズの焦点とを結んだ延長上に視点を設定して観察する場合には、共役像からの光の混入を避けることはできず、実像の画像を劣化させる。

【0025】従来例4の技術は、位相成分に変化の無い2次元平面物体にのみ適用することが可能であり3次元物体には適用できないこと、および、撮像物体の位置を共焦点光学系の前焦点面に設置しなければならないという配置上の制約がある。

【0026】本発明は、上記を鑑みてなされたものであり、計算機ホログラムであって、比較的低い空間分解能の記録素子を使用して、質が高く、再生時に共役像の除去が容易なホログラムを作成するホログラフィ作成装置を提供することを目的とする。

【0027】また、本発明は、本発明のホログラフィ作成装置で作成したホログラムから原像に対する歪を低減するとともに、共役像を除去して表示可能なホログラフィ表示装置を提供することを目的とする。

【0028】

【課題を解決するための手段】請求項1のホログラフィ作成装置は、仮想3次元空間中の仮想物体に関する、平面状の仮想ホログラム面上のホログラムを作成するホログラフィ作成装置であって、(a)観察対象となるべき虚像の所定位置から、正も屈折力を有する第1の結像光学系に応じて、虚像に対応する実像の位置を算出する第1の位置算出手段と、(b)実像の位置での物体光の波面を算出する第1の波面算出手段と、(c)物体光の伝搬の伝搬関数を、伝搬する軸と垂直な平面内の伝搬する軸と垂直な所定方向側の半平面内でのみ値を持つように限定し、半平面伝搬関数を算出する領域限定手段と、(d)実像の位置での物体光の波面とホログラム面での半平面伝搬関数との畳み込み積分を演算し、ホログラム面上での物体光の波面を算出する畳み込み積分手段とを備えることを特徴とする。

【0029】ここで、(e)ホログラム面上での物体光の波面と参照光の波面との複素和を算出し、実数成分を取り出してホログラムデータを得る干渉演算手段を更に備えることを特徴としてもよい。

【0030】こうしたホログラフィ作成装置は、計算機

システムを使用して好適に実現できる。

【0031】請求項1のホログラフィ作成装置では、まず、観察対象となるべき虚像の位置を決定し、第1の位置算出手段が、この虚像の所定位置から、虚像に応じた実像の位置を算出する。この実像位置の算出は、第1の結像光学系に関するガウスの結像公式を用い、虚像位置を与えることによって算出される。引き続き、第1の波面算出手段が、第1の位置算出手段によって算出された実像位置における実像の物体光の波面を算出する。

【0032】一方、領域限定手段が、物体光の伝搬を表現する伝搬関数を、伝搬する軸と垂直な平面内の伝搬する軸と垂直な所定方向側の半平面内でのみ値を持つように限定した半平面伝搬関数を算出する。すなわち、領域限定手段は、伝搬する軸と垂直な平面内の伝搬する軸と垂直な所定方向側の半平面内では、伝搬関数を元のままとし、伝搬する軸と垂直な平面内の伝搬する軸と垂直な所定方向と反対方向側の半平面内では、伝搬関数を0とする。

【0033】そして、畳み込み積分手段が、実像の位置での物体光の波面とホログラム面での半平面伝搬関数との畳み込み積分を演算して、ホログラム面上での物体光の波面を算出する。

【0034】この後に、ホログラム面上での物体光の波面と参照光の波面との複素和を算出して参照光との干渉を演算し、実数部分を取り出すとホログラムデータが得られるが、参照光がホログラム面に垂直に入射する様な強度を有するin-line型の場合には、複素和の実数成分はホログラム面上での物体光の波面の実数成分に比例するので、複素和演算を省略できる。

【0035】in-line型でない場合には、ホログラム面上での物体光の波面と参照光の波面との複素和を算出して参照光との干渉を演算する干渉演算手段を更に受け、算出した複素和の実数部分を取り出してホログラムデータを得る。

【0036】請求項2のホログラフィ作成装置は、仮想3次元空間中の仮想物体に関する、平面状の仮想ホログラム面上のホログラムを作成するホログラフィ作成装置であって、(a)観察対象となるべき虚像の所定位置から、正も屈折力を有する第1の結像光学系に応じて、虚像の各点に対応する前記ホログラム面上の位置を算出する第2の位置算出手段と、(b)虚像の各点での光の波面を算出する第2の波面算出手段と、(c)虚像の各点での光の伝搬の伝搬関数を、伝搬する軸と垂直な平面内の前記軸と垂直な所定方向側の半平面内でのみ値を持つように限定し、半平面伝搬関数を算出する領域限定手段と、(d)虚像の各点での光の波面と前記ホログラム面での半平面伝搬関数との畳み込み積分を演算し、前記ホログラム面上での物体光の波面を算出する畳み込み積分手段とを備えることを特徴とする。

【0037】ここで、(e)ホログラム面上での物体光

の波面と参照光の波面との複素和を算出し、実数成分を取り出してホログラムデータを得る干渉演算手段を更に備えることを特徴としてもよい。

【0038】こうしたホログラフィ作成装置は、計算機システムを使用して好適に実現できる。

【0039】請求項2のホログラフィ作成装置では、まず、観察対象となるべき虚像の位置を決定し、第2の位置算出手段が、この虚像の所定位置から、虚像の各点に応じたホログラム面上の位置を算出する。このホログラム面上の位置の算出は、第1の結像光学系の位置を基準とした、虚像位置とホログラム面位置とから算出される。引き続き、第2の波面算出手段が、虚像の各点における光の波面を算出する。

【0040】一方、請求項1と同様に、領域限定手段が、物体光の伝搬を表現する伝搬関数を、伝搬する軸と垂直な平面内の伝搬する軸と垂直な所定方向側の半平面内でのみ値を持つように限定した半平面伝搬関数を算出する。すなわち、領域限定手段は、伝搬する軸と垂直な平面内の伝搬する軸と垂直な所定方向側の半平面内では、伝搬関数を元のままとし、伝搬する軸と垂直な平面内の伝搬する軸と垂直な所定方向と反対方向側の半平面内では、伝搬関数を0とする。なお、ここで、伝達関数は、第1の結像光学系を含めた伝達関数である。

【0041】以後、請求項1と同様にして、ホログラムデータを得る。

【0042】請求項4のホログラフィ表示装置は、請求項1または請求項2のホログラフィ作成装置で作成されたホログラムに基づいて仮想物体の像を表示するホログラフィ表示装置であって、(a) 請求項1または請求項2のホログラフィ作成装置で作成されたホログラムデータを入力する情報入力手段と、(b) 情報入力手段から通知された前記ホログラムデータに基づいて、ホログラムを形成するホログラム形成部と、(c) ホログラムを形成する波面の光を入力し、仮想物体の虚像を結像する、請求項1または請求項2のホログラフィ作成装置の第1の結像光学系と同等の正の屈折力を有する第2の結像光学系と、(d) 第2の結像光学系のホログラム側とは反対側の焦点に配置された0次光を遮光する第1の遮光手段と、(e) 第2の結像光学系のホログラム側とは反対側の焦点面上に配置され、ホログラムを形成する波面の光が第2の結像光学系を介して、実像を結像する波面を遮光する第2の遮光手段とを備えることを特徴とする。

【0043】ここで、ホログラムの位置と第2の結像光学系のホログラム側の焦点面との距離を変化させる移動手段を更に備えることが可能である。

【0044】また、ホログラム形成部は、(i) 情報入力部から通知された撮像結果の光学像を表示する表示手段と、(ii) 表示手段に表示された光学像に応じた空間光変調像が書き込まれる空間光変調器と、(iii) 空間

光変調器に照射される読み出し光を発生する光源と、

(iv) 読み出し光が空間光変調器を介することにより位相又は振幅変調された位相又は振幅変調光を入力し、ホログラフィ撮像装置の撮像素子と同一の大きさのホログラムを形成するホログラム形成光学系とを備えることを特徴とする。

【0045】請求項4のホログラフィ表示装置では、まず、読み出し光などを使用して、ホログラム形成部が、請求項1または請求項2のホログラフィ作成装置で作成されたホログラム形成する。ホログラム形成部によって形成されたホログラムを介した光は、後の第2の結像光学系を介した後に観察に好適な虚像となる実像を形成する波面を有する光と、この実像の共役像である虚像を形成する波面を有する光とを含んでいる。そして、共役像である虚像を形成する波面を有する光は、第2の結像光学系を介した後に実像を形成するが、観察にとって邪魔物となる。

【0046】すなわち、ホログラム形成部によって形成されたホログラムを介した光は、観察に好適な虚像を形成する波面を有する光と、観察にとって余分な実像を形成する波面を有する光と、やはり観察にあたっては余分な0次光とが含まれている。

【0047】なお、第2の結像光学系は、撮像次の第1の結像光学系と同等な光学系なので、第2の結像光学系を介して形成される実像や虚像には、歪が無い。

【0048】請求項4のホログラフィ表示装置では、観察にあたって余分な0次光を第2の結像光学系のホログラム側とは反対側の焦点に設置された第1の遮光手段によって、観察にとって余分な実像を形成する波面を有する光を第2の結像光学系のホログラム側とは反対側の焦点面に設置された第1の遮光手段によってマスクする。

【0049】この結果、第2の結像光学系のホログラム側とは反対側の焦点面よりも遠方には、観察に好適な虚像を形成する波面を有する光のみが到達する。したがって、第2の光学系のホログラム側とは反対側の焦点面よりも遠方から、観察に好適な虚像を形成する波面を有する光のみを入力することにより、質の高い再生像を観察することができる。

【0050】なお、ホログラム形成部、第2の結像光学系、第1の遮光手段、および第2の遮光手段の機能は、計算機を用いた演算処理によっても実現することが可能である。

【0051】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明のホログラフィ撮像装置およびホログラフィ表示装置の実施の形態を説明する。なお、図面の説明にあたって同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0052】[ホログラフィ撮像装置の実施形態]

(第1実施形態) 図1は、本発明のホログラフィ作成装

置の第1実施形態の構成図である。図1に示すように、この装置は、(a)観察対象となるべき虚像の所定位置から、正も屈折力を有する結像光学系に応じて、虚像に対応する実像の位置を算出する第位置算出手段110と、(b)実像の位置での物体光の波面を算出する波面算出手段210と、(c)物体光の伝搬の伝搬関数を、伝搬する軸と垂直な平面内の伝搬する軸と垂直な所定方向側の半平面内でのみ値を持つように限定し、半平面伝搬関数を算出する領域限定手段300と、(d)実像の位置での物体光の波面とホログラム面での前記半平面伝搬関数との畳み込み積分を演算し、ホログラム面上での物体光の波面を算出する畳み込み積分手段400と、(e)ホログラム面上での物体光の波面と参照光の波面との複素和を算出し、実数成分を取り出してホログラムデータを得る干渉演算手段500とを備える。こうしたホログラフィ作成装置は、関数演算機能を有する計算機システムを使用して好適に実現される。

【0053】図2は、本実施形態の装置でのホログラフィ作成にあたって想定した光学系の説明図である。図2に示すように、本実施形態の装置では、像の観察時には、結像光学系111(焦点距離=f)を介して虚像IMを観察することを想定する。なお、図2では、図示のように、結像光学系111の光軸方向をZ方向、紙面上方向をY方向、紙面垂直方向をX方向としている。そして、結像光学系111の中心位置を原点としている。更に、ホログラム面115を、観察時に想定する視点側とは反対側の結像光学系111の焦点面位置に配置する。

【0054】本実施形態のホログラフィ作成装置は、以下のようにして、ホログラムデータを得る。図3および図4は、本実施形態のホログラフィ作成装置の動作を説

$$f(X, Y) = (1/r) \exp[j \cdot k \cdot r] \quad \dots (5)$$

ここで、 $r = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2}$

k: 波数
である。

$$u(X, Y) = F^{-1} [F[O(X, Y)] \cdot F[f(X, Y)]^*] \quad \dots (6)$$

により、実像の位置での物体光の波面 $O(X, Y)$ とホログラム面での半平面伝搬関数 $f(X, Y)$ との畳み込み積分の演算により、実像の位置での物体光の波面 $O(X, Y)$ の逆フレネル変換として算出する。なお、距離を近似したフレネル変換は、近距離の場合や数百分の1波長の精度を必要とする場合には適用できない。

$$F[f(X, Y)] = \exp[jkL(1 - \mu^2 \lambda^2)^{1/2}] \quad \dots (7)$$

ここで、 μ : 空間周波数

λ : 波長

を使用してもよい。なお、使用にあたっては、上記と同様に半平面で値を有することとする。

【0061】以上を離散的に表現した場合について説明

$$H(h_{pm}, h_{pn}) = F^{-1} [F[O(h_{pm}, h_{pn})] \times F[f(h_{pm}, h_{pn})]^*] \quad \dots (8)$$

明するフローチャートである。

【0055】本実施形態のホログラフィ作成装置では、まず、観察対象となるべき虚像の位置($Z = b_z$)を決定し、位置算出手段110が、ガウスの結像公式を使用して、虚像IMの各点の位置(b_x, b_y, b_z)から、虚像IMの各点に応じた実像RLの各点の位置(a_x, a_y, a_z)を、

$$a_x = f \cdot b_x / (b_z - f) \quad \dots (1)$$

$$a_y = f \cdot b_y / (b_z - f) \quad \dots (2)$$

$$a_z = f \cdot b_z / (b_z - f) \quad \dots (3)$$

より算出する。このとき、ホログラム面と実像RLとの距離Lは、

$$L = f^2 / (f - b_z) \quad \dots (4)$$

となる。

【0056】引き続き、波面算出手段210が、位置算出手段110によって算出された実像位置(a_x, a_y, a_z)における実像の物体光の波面 $O(X, Y)$ を算出する。

【0057】一方、領域限定手段300が、物体光の伝搬に関する、ホログラム面116上の伝搬関数 $f(X, Y)$ を、伝搬する軸と垂直な平面内の伝搬する軸と垂直な所定方向側の半平面内でのみ値を持つように限定した半平面伝搬関数を算出する。すなわち、領域限定手段は、伝搬する軸と垂直な平面内の伝搬する軸と垂直な所定方向側の半平面内では、伝搬関数を元のままとし、伝搬する軸と垂直な平面内の伝搬する軸と垂直な所定方向と反対方向側の半平面内では、ホログラム面116上の伝搬関数 $f(X, Y) = 0$ とする。

【0058】なお、ホログラム面116上での伝搬関数 $f(X, Y)$ は、

【0059】そして、畳み込み積分手段400が、ホログラム面116上での物体光の波面 $u(X, Y)$ を、

【0060】実際の計算では、離散的な演算が行われるので、常に、ナイキスト間隔の吟味が必要となる。したがって、伝搬関数 $f(X, Y)$ を機械的にフーリエ変換するのではなく、 $F[f(X, Y)]$ を解析に解いて近似した、

する。

【0062】フレネル伝送距離L、ホログラムのピッチ h_p 、実像位置の波面 $O(h_{pm}, h_{pn})$ 、ホログラム面116での波面を $H(h_{pm}, h_{pn})$ とすると、

$$f(hpm, hpn) = (1/r) \exp[jkr] \quad \dots (9)$$

$r = ((hpm)^2 + (hpn)^2 + L^2)^{1/2}$
 ここで、 $m = -N/2 \sim (N/2) - 1$ の整数
 $n = -N/2 \sim (N/2) - 1$ の整数
 となる。

【0063】ただし、 $f(hpm, hpn)$ は半平面でのみ値を有し、他の領域では0とする。半平面をXの正領域とすると、 $m = 0 \sim (N/2) - 1$ の整数、および $n = -N/2 \sim (N/2) - 1$ の整数の場合に、 $f(hpm, hpn)$ は値を有する。また、半平面をXの負領域とすると、 $m = -N/2 \sim 0$ の整数、および $n = -N/2 \sim (N/2) - 1$ の整数の場合に、 $f(hpm, hpn)$ は値を有する。半平面をYの正領域とすると、 m

$$F[f(hpm, hpn)] \\ = \exp[kL(1 - (m\lambda / (hpn))^2 \\ - (n\lambda / (hpn))^2)^{1/2}] \quad \dots (10)$$

を用いる方が好適である。

【0066】これを利用するにあたっては、逆フーリエ

$$\text{ch}[F^{-1}[\exp[kL(1 - (m\lambda / (hpn))^2 \\ - (n\lambda / (hpn))^2)^{1/2}]]] \quad \dots (11)$$

と表すことができる。

【0067】次に、干渉演算手段500が、ホログラム面上での物体光の波面 $H(hpm, hpn)$ と参照光の波面との複素和を算出し、実数成分を取り出してホログラムデータを得る。

【0068】なお、*in-line*型の場合には、干渉演算手段500による干渉演算は必要なく、ホログラム面116での波面を $H(hpm, hpn)$ の実数成分を取り出せばよい。

【0069】(第2実施形態)図5は、本発明のホログラフィ作成装置の第2実施形態の構成図である。図5に示すように、この装置は、(a)観察対象となるべき虚像の所定位置から、正も屈折力を有する第1の結像光学系に応じて、虚像の各点に対応する前記ホログラム面上の位置を算出する位置算出手段120と、(b)ホログラム面での物体光の波面を算出する波面算出手段220と、(c)物体光の伝搬の伝搬関数を、伝搬する軸と垂直な平面内の伝搬する軸と垂直な所定方向側の半平面内でのみ値を持つように限定し、半平面伝搬関数を算出する領域限定手段300と、(d)実像の位置での物体光の波面とホログラム面での前記半平面伝搬関数との畳み込み積分を演算し、ホログラム面上での物体光の波面を算出する畳み込み積分手段400と、(e)ホログラ

$$f(X, Y) = (1/r) \exp[jkr] \quad \dots (12)$$

ここで、 $r = (X^2 + Y^2 + L^2)^{1/2}$

k : 波数

となる。また、ホログラム面116の直後の波面を $u(X, Y)$ とすると、結像光学系111が存在する場合の観測面での波面は、

$= -N/2 \sim (N/2) - 1$ の整数、および $n = 0 \sim (N/2) - 1$ の整数の場合に、 $f(hpm, hpn)$ は値を有する。また、半平面をYの負領域とすると、 $m = -N/2 \sim (N/2) - 1$ の整数、および、 $n = -N/2 \sim 0$ の整数の場合に、 $f(hpm, hpn)$ は値を有する。

【0064】以上の半平面のみに値を有するようにする変換を、以後、

$\text{ch}[f(hpm, hpn)]$
 と表記する。

【0065】フレネル距離 L の値によっては、

変換した後、半平面を0とする。この演算は、

ム面上での物体光の波面と参照光の波面との複素和を算出し、実数成分を取り出してホログラムデータを得る干渉演算手段500とを備える。こうしたホログラフィ作成装置は、関数演算機能を有する計算機システムを使用し好適に実現される。

【0070】図6は、本実施形態の装置でのホログラフィ作成にあたって想定した光学系の説明図である。図6に示すように、本実施形態の装置では、像の観察時には、結像光学系111(焦点距離 $=f$)を介して、結像光学系111の一方の焦点面を観測面として、虚像IMを観察することを想定する。なお、図6では、図示のように、結像光学系111の光軸方向をZ方向、紙面上方向をY方向、紙面垂直方向をX方向としている。そして、ホログラム面115を、観察時に想定する視点側とは反対側の結像光学系111の焦点面位置に配置する。

【0071】本実施形態のホログラフィ作成装置は、以下のようにして、ホログラムデータを得る。図7は、本実施形態のホログラフィ作成装置の動作を説明するフローチャートである。

【0072】図6において、結像光学系111が無く、かつ、観測面からの距離 L の光軸上に点光源 $\delta(X)$ があると想定する。この場合、観測面上での物体光の波面 $f(X, Y)$ は、

$$F[u(X, Y)]$$

ここで、 F : フーリエ変換

となる。

【0073】ここで、

$$f(X, Y) = F[u(X, Y)] \quad \cdots (13)$$

とすると、

$$u(X, Y) = F^{-1}[(1/r) \exp[jkr]] \quad \cdots (14)$$

となる。この波面 $u(X, Y)$ は、図6の光学系において、観測面から距離 L の面（虚像面）上の光軸上に点光源を再生するホログラムの物体波である。すなわち、結像光学系111を含めた伝達関数となる。

【0074】次に、虚像面上の任意の位置 (X', Y') に存在する点光源を再生する場合を考える。この場合には、ホログラム面116上の位置 (X, Y) を、
 $X = (f/L) X' \quad \cdots (15)$

$$Y = (f/L) Y' \quad \cdots (16)$$

で計算し、この位置に上記の $u(X, Y)$ と同様の波面を設定すればよい。

【0075】すなわち、まず、位置算出手段120が、(15)式および(16)式によって、虚像面上の位置 (X', Y') に対応するホログラム面116上の位置 (X, Y) を算出する。

$$U(X, Y) = F^{-1}[F[O(X, Y)] \times F[F^{-1}[f(X, Y)]]] \quad \cdots (17)$$

により、畳み込み積分を演算して求める。

【0079】以上を離散的に表現した場合について説明する。

$$U(hpm, hpn) = F^{-1}[F[O(hpm, hpn)] \times F[ch[F^{-1}[f(hpm, hpn)]]]] \quad \cdots (18)$$

$$f(hpm, hpn) = (1/r) \exp[jkr]$$

$$r = ((hpm)^2 + (hpn)^2 + L^2)^{1/2}$$

ここで、 $m = -N/2 \sim (N/2) - 1$ の整数

$n = -N/2 \sim (N/2) - 1$ の整数

となる。

【0081】ただし、 $f(hpm, hpn)$ は半平面でのみ値を有し、他の領域では0とする。半平面を X の正領域とすると、 $m = 0 \sim (N/2) - 1$ の整数、および $n = -N/2 \sim (N/2) - 1$ の整数の場合に、 $f(hpm, hpn)$ は値を有する。また、半平面を X の負領域とすると、 $m = -N/2 \sim 0$ の整数、および $n = -N/2 \sim (N/2) - 1$ の整数の場合に、 $f(hpm, hpn)$ は値を有する。半平面を Y の正領域とすると、 $m = -N/2 \sim (N/2) - 1$ の整数、および $n = 0 \sim (N/2) - 1$ の整数の場合に、 $f(hpm, hpn)$ は値を有する。また、半平面を Y の負領域とすると、 $m = -N/2 \sim (N/2) - 1$ の整数、および、 $n = -N/2 \sim 0$ の整数の場合に、 $f(hpm, hpn)$ は値を有する。

【0082】以上の半平面のみに値を有するようにする変換を、(18)では、

$$ch[f(hpm, hpn)]$$

と表記している。

【0083】次に、干渉演算手段500が、ホログラム

【0076】引き続き、波面算出手段220が、虚像の各点の波面 $O(X, Y)$ を算出する。

【0077】一方、領域限定手段320が、物体光の伝搬に関する、ホログラム面116上の位置 (X, Y) における伝搬関数 $u(X, Y)$ を、伝搬する軸と垂直な平面内の伝搬する軸と垂直な所定方向側の半平面内でのみ値を持つように限定した半平面伝搬関数を算出する。すなわち、領域限定手段320は、伝搬する軸と垂直な平面内の伝搬する軸と垂直な所定方向側の半平面内では、伝搬関数を元のままとし、伝搬する軸と垂直な平面内の伝搬する軸と垂直な所定方向と反対方向側の半平面内では、ホログラム面116上の伝搬関数を0とする。

【0078】そして、畳み込み積分手段400が、ホログラム面116上での物体光の波面 $U(X, Y)$ を、

【0080】フレネル伝送距離 L 、ホログラムのピッチ hp 、虚像位置の波面 $O(hpm, hpn)$ 、ホログラム面116での波面を $U(hpm, hpn)$ とすると、

面上での物体光の波面 $H(hpm, hpn)$ と参照光の波面との複素和を算出し、実数成分を取り出してホログラムデータを得る。

【0084】なお、*inline* 型の場合には、干渉演算手段500による干渉演算は必要なく、ホログラム面116での波面を $U(hpm, hpn)$ の実数成分を取り出せばよい。

【0085】[ホログラフィ表示装置の実施形態]

(第1実施形態) 図8は、本発明のホログラフィ表示装置の実施形態の構成図である。本実施形態のホログラフィ表示装置は、図1または図5のホログラフィ作成装置によって作成された強度ホログラムに基づいて、像を再生表示する装置である。

【0086】図8に示すように、この装置は、(a) 図12のホログラフィ撮像装置されたホログラム情報を入力する情報入力部600と、(b) 情報入力部600を介したホログラム情報を入力し、このホログラム情報に基づいてホログラム117を形成するホログラム形成部700と、(c) ホログラム117を形成する波面の光を入力して結像する、図2の結像光学系111と同等の結像光学系112と、(d) 結像光学系112のホログラム117側とは反対側の焦点位置に配置された0次遮光板810と、(e) 結像光学系112のホログラム117側とは反対側の焦点面の紙面下方に配置された遮光

板820とを備える。

【0087】ホログラム形成部700は、(i) 情報入力部600から通知された情報に基づいて、画像表示する表示装置710と、(ii) 表示装置710で表示された画像の書き込む、空間光変調器720と、(iii) 空間光変調器720に照射する、平面波である可干渉光を発生するレーザ光源730と、(iv) レーザ光源730から出力された光を空間光変調器720へ導くリレー光学系740と、(v) 空間光変調器652で位相変調された光を入力し、空間光変調器720のホログラム117を形成するアフォーカル光学系750とを備える。

【0088】まず、情報入力部600からホログラム情報である画像情報を入力し、表示装置710に表示して、その画像情報を空間光変調器720に書き込む。表示装置710としては小型CRTを、空間光変調装置720としては、光書き込み型液晶空間光変調素子を好適に使用できる。

【0089】引き続き、レーザ光源730から出射された光がリレー光学系740を介して空間光変調器720に照射される。そして、空間光変調器720で位相変調された光はアフォーカル光学系750を介して、空間光変調器720のホログラム117を形成する。

【0090】図9は、再生時における虚像の観察の説明図である。ホログラム117に作成時の参照光の共役波である平行光、すなわち、読み出し光を照射すると、実像RL1を形成する波面の光が発生する。この光は結像光学系112に入力し、虚像IM1を形成する波面の光となる。図9に示すように、虚像IM1を形成する波面の光は、結像光学系112のホログラム117側とは反対側の焦点面において、焦点の紙面上方を通過するので、結像光学系112のホログラム117側とは反対側の焦点面の後方から、この光を観察することにより虚像IM1を観察することにより、正しい像方向の像の全体像が歪が無して好適に観測される。

【0091】図10は、再生時における共役像の除去の説明図である。図10に示すように、ホログラム117に作成時の参照光の共役波である平行光、すなわち、読み出し光を照射すると、実像RL1の共役像である虚像IM2を形成する波面の光が発生する。この光は結像光学系112に入力し、実像RL2を形成する波面の光となる。図10に示すように、実像RL2を形成する波面の光は、結像光学系112のホログラム117側とは反対側の焦点面において、焦点の紙面下方を通過するので、0次遮光板810または遮光板820によって遮光される。この結果、図9で説明した、結像光学系112のホログラム117側とは反対側の焦点面の後方からの虚像IM1の観測にあたって、実像RL2を形成する波

面の光が混入することが無く、好適な像観察ができる。

【0092】

【発明の効果】以上、詳細に説明した通り、請求項1のホログラフィ作成装置によれば、伝搬関数を半空間でのみ値を持つように制限して、ホログラムを計算によって作成するので、再生時に共役像の除去が容易であり、質の高いホログラムを撮像することができる。

【0093】また、請求項1のホログラフィ作成装置によれば、伝搬関数の逆フーリエ返還を半空間でのみ値を持つように制限して、ホログラムを計算によって作成するので、再生時に共役像の除去が容易であり、質の高いホログラムを撮像することができる。

【0094】また、請求項4のホログラフィ表示装置によれば、ホログラフィ作成時の結像光学系と同等の結像光学系を採用するとともに、結像光学系によって結像される実像を形成する波面の光を遮光するので、請求項1または請求項2のホログラフィ撮像装置で撮像したホログラムから、共役像に係る光を除去し、原像に対する歪を低減して、良質の像の再生表示が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のホログラフィ作成装置の第1実施形態の構成図である。

【図2】第1実施形態のホログラフィ作成装置が想定する光学系の説明図である。

【図3】第1実施形態のホログラフィ作成装置の動作(前半)のフローチャートである。

【図4】第1実施形態のホログラフィ作成装置の動作(後半)のフローチャートである。

【図5】本発明のホログラフィ作成装置の第2実施形態の構成図である。

【図6】第2実施形態のホログラフィ作成装置が想定する光学系の説明図である。

【図7】第2実施形態のホログラフィ作成装置の動作のフローチャートである。

【図8】本発明のホログラフィ表示装置の実施形態の構成図である。

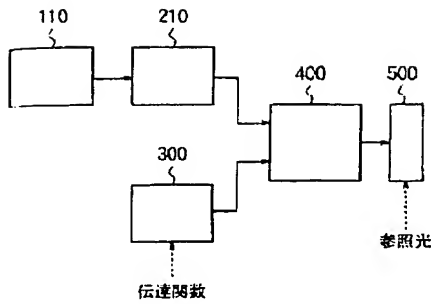
【図9】実施形態のホログラフィ表示装置における再生像の観察の説明図である。

【図10】実施形態のホログラフィ表示装置における共役像の除去の説明図である。

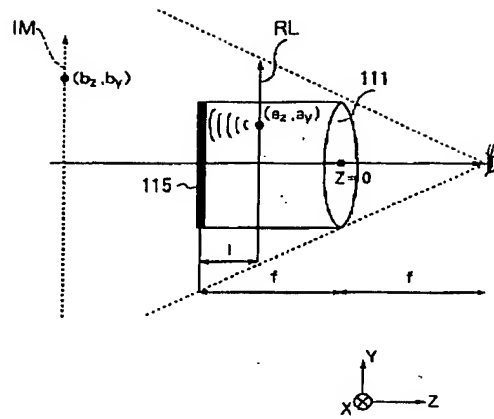
【符号の説明】

110, 120…位置算出手段、111, 112…結像光学系、210, 220…波面算出手段、300…領域限定手段、400…畳み込み積分手段、500…干渉演算手段、600…情報入力手段、700…ホログラム形成部、810…0次光遮光板、820…遮光板。

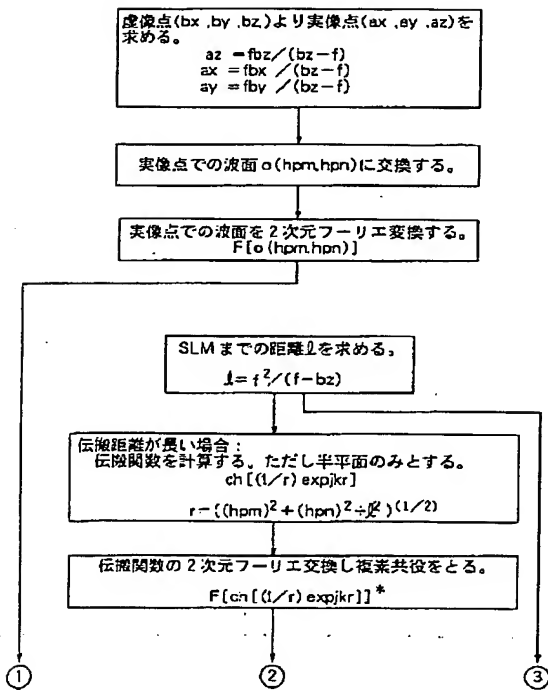
【図 1】



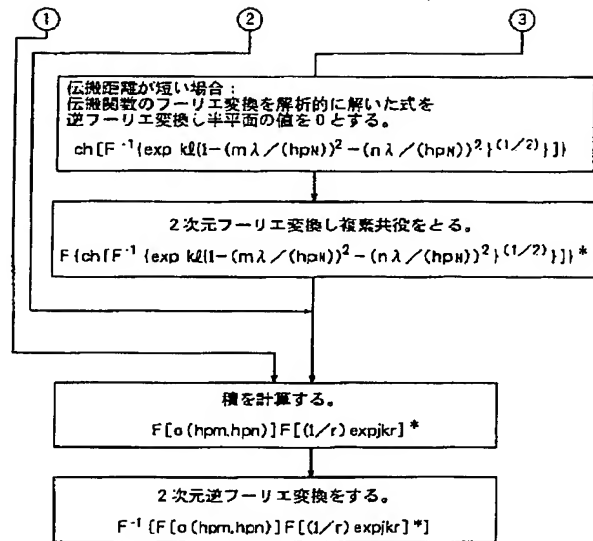
【図 2】



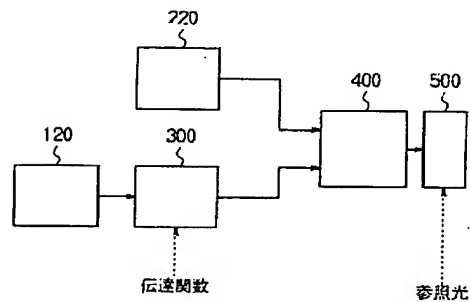
【図 3】



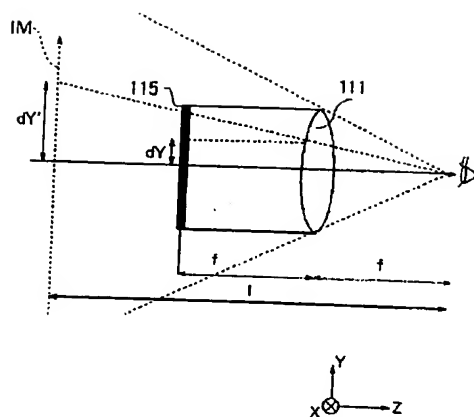
【図 4】



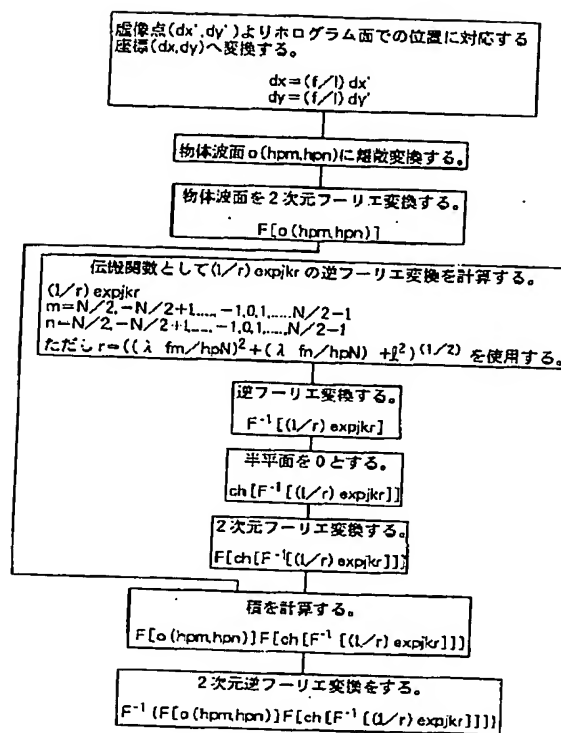
【図 5】



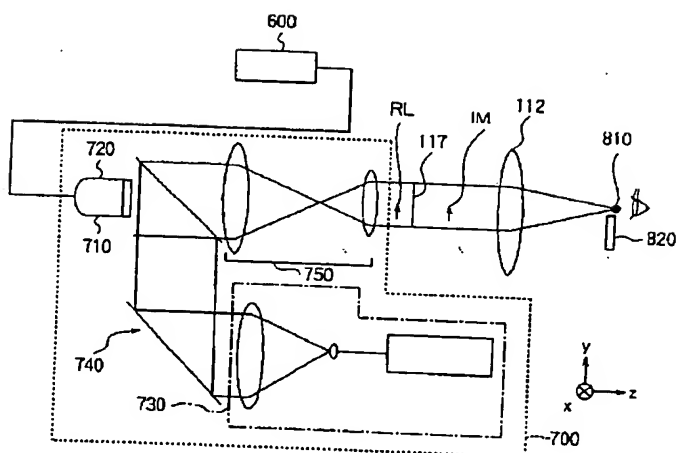
【図6】



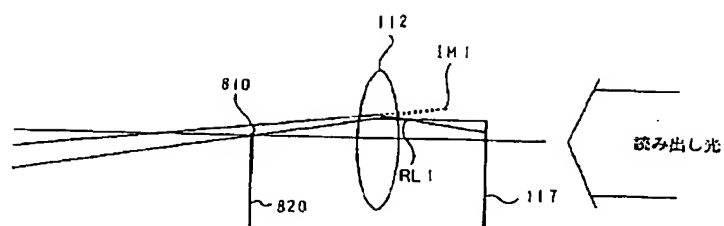
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

